

Aus der Universitäts-Augenklinik Marburg a. d. Lahn
Direktor: Professor Dr. med. W. Straub

Untersuchungen über Veränderungen durch Kälte am Kaninchenauge

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Isolde Müller
aus Weigelsdorf/Sudetenland

Marburg 1966

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg

Aus der Universitäts-Augenklinik Marburg a. d. Lahn
Direktor: Professor Dr. med. W. Straub

Untersuchungen über Veränderungen durch Kälte am Kaninchenauge

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Isolde Müller
aus Weigelsdorf/Sudetenland

Marburg 1966

Fotodruck von Erich Mauersberger in Marburg



Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 18. 5. 1966

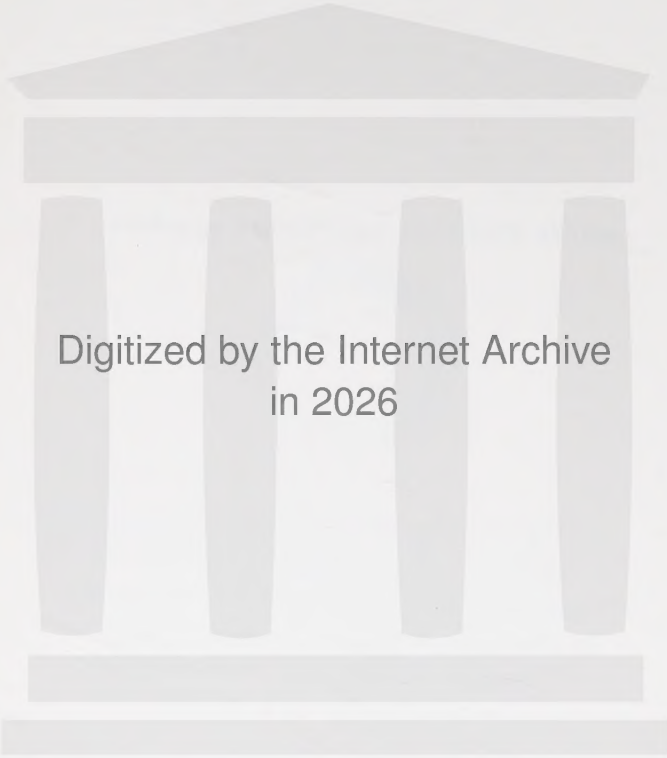
gedruckt mit Genehmigung der Fakultät

Dekan: Prof. Dr. med. O. Braun-Falco

Referent: Prof. Dr. med. W. Straub

Correferent: Doz. Dr. med. Aust

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	4
a) Bisherige Berichte über Kälteschäden des menschlichen Auges.	4
b) Bisherige Berichte über experimentelle Veränderungen am Tierauge	7
II. Unsere Versuche.	9
a) Vereisung der Hornhaut.	9
1. Versuchsanordnung.	9
2. Ergebnisse	11
b) Vereisung des Ciliarkörpers	20
1. Versuchsanordnung.	20
2. Ergebnisse	20
c) Temperaturmessung am Kaninchenaug nach umschriebener Abkühlung	22
1. Versuchsanordnung.	22
2. Ergebnisse	24
A) Vereisung im Zentrum der Hornhaut und Messung der Temperatur am Limbus	25
B) Vereisung im HH-Zentrum und Messung der Temperatur auf einem in der Mitte zwischen Zentrum und Limbus gelegenen Punkt der HH	29
C) Vereisung im HH-Zentrum und Messung der Temperatur auf der Bindehaut, in 2 mm Entfernung vom Limbus.	34
III. Besprechung der Ergebnisse.	39
1. Analyse der Kälteeinwirkung.	39
2. Temperaturverhalten an verschiedenen Stellen des vorderen Augenabschnittes. .	42
IV. Zusammenfassung	48
V. Schrifttum	52

I. Einleitung

a) Bisherige Berichte über Kälteschäden des menschlichen Auges

Über Erfrierungen bestimmter Augenabschnitte wird in der Literatur relativ selten berichtet. Sie traten auf im Krieg, beim Sport, bei Bergexpeditionen, Schneestürmen, Fliegern und Fallschirmabsprüngen aus Höhen, wie sie beim Stratosphärenflug erreicht werden.

v. HERRENSCHWAND berichtete 1916 über sieben symmetrische Hornhautgeschwüre während des Hochgebirgskrieges gegen Italien. Beim Postenstehen in extremen Höhenstellungen (2000m) über längere Zeit, hatten die Soldaten eine Hornhautschädigung davongetragen, die sich nur auf den schmal offengehaltenen Lidspaltenbereich beschränkte. Es war dort zu zarten Trübungen des Epithels, zu Blasenbildungen und stellenweise zu Abschlüferungen gekommen. Zum Teil waren auch die tieferen Schichten der Hornhaut mit angegriffen, die sich mit intensiver Trübung am Krankheitsprozeß beteiligten.

Auf dem östlichen Kriegsschauplatz im Winter 1916/17 hat FREYTAG eine vorübergehende Hornhauttrübung durch Kälte beschrieben. Ein Soldat hatte eine, beim Aufenthalt in der Wärme wieder verschwindende Abschwächung des Sehvermögens auf dem rechten kurzsichtigen Auge beobachtet. Nach zweistündigem Aufenthalt bei -3°C war die rechte Hornhaut matt, leicht uneben und zeigte in ihrer Tiefe eine weißliche, aus feinen Punkten zusammengesetzte streifenartige Trübung. Die Sensibilität war stark herabgesetzt. Nach Verlauf einiger Stunden war die Trübung vollständig verschwunden, die Hornhaut wieder klar und glänzend.

Bei einem Flieger, der 4500m über ein schneebedecktes Gebirge aufgestiegen war und unterwegs seine Schutzbrille verloren hatte, sah COLOMBO (1921) auf beiden Augen eine zentral gelegene, oberflächliche Hornhauttrübung mit teilweisem Epithelverlust. Nach drei Tagen war die Hornhaut wieder normal. Die Temperatur hatte ungefähr -25°C betragen.

Ein weiterer Fall ist durch CARROLL (1933) bekannt geworden. Ein Patient, der mehrere Tage lang einer strengen Kälte ausgesetzt war, hatte neben etlichen Frostbeulen im Gesicht eine massive Trübung der Hornhaut, eine conjunktivale Hyperämie und eine geringgradige Chemosis davongetragen. In der unteren Limbusgegend befand sich ein Epitheldefekt der Cornea von 8mm Länge und 4mm Breite, dessen Grund glasig aussah. Der Patient hatte heftige Schmerzen. Die Sensibilität war normal, die Iris leicht hyperämisch und die Sehschärfe kaum herabgesetzt. Nach 10 Tagen vollständige Heilung.

Die Beschreibung einer während eines Schneesturms hervorgerufenen Erfrierung 2. Grades mit Beteiligung beider Augen in Form einer Keratitis ulcerosa, Iridocyclitis und Hornhauttrübung stammt von SHTEINBERG (1961). Bereits nach zwei Tagen war die Trübung wieder verschwunden.

Ähnliche, auf Kälte zurückzuführende Augenveränderungen wurden von BELZ (1958) bei einem im Hochgebirge abgestürzten Flieger beobachtet. Neben Lidödem und perilibären Hämorrhagien fanden sich kleine subepitheliale Phlyktänen, hauptsächlich im Lidspaltenbereich; daneben eine Hypästhesie und Hypotonie. Spontan bestanden keine Augenschmerzen.

Bei zwei polnischen Fliegern, die aus einem Gefangen-

lager in Österreich mit Hilfe eines alten Flugzeuges geflohen und 7-8 Stunden lang bei Temperaturen von -25° bis -30°C ohne Schutzbrillen geflogen waren, wurde von SEDAN (1961) der durch die Kälte hervorgerufene Befund festgehalten : Hornhaut weiß und gleichsam gefroren; weiße, horizontale, undurchsichtige Bänder aus zahlreichen runden, lichtbrechenden Bläschen und kleinen erhabenen Punkten bestehend, zogen sich dem Lidspaltenbereich entsprechend über die Hornhaut. Nach 15 Tagen war der Befund völlig abgeheilt.

Fragen der Kälteeinwirkung auf den Augapfel und damit auf die Sehfunktion gewinnen natürlich im Zeitalter der Technik und der damit verbundenden Probleme des Höhen- und Raumfluges ein besonderes Interesse.

ZANEN (1958), MERCIER und DUGUET (1948/51) beschäftigten sich mit den Einflüssen extremer Temperaturen in großen Höhen, wie sie beim Stratosphärenflug erreicht werden. Die Außentemperaturen, die in der dabei erreichten Höhe von 24 000 m herrschen, betragen -60°C . Ein Fallschirmabsprung ist gefährlich, weil bereits bei -40°C eine Hornhauterfrierung innerhalb von 90 sec erfolgen kann (MERCIER 1954). Hält die Kälteeinwirkung lang genug an, so kann eine irreversible Zerstörung der Zellen erfolgen. Von DUGUET und MERCIER (1951) stammt eine biomikroskopische Beschreibung : die Hornhautveränderungen sind im Allgemeinen bilateral. Die Hornhaut ist in ihrem horizontalen Durchmesser entsprechend dem Lidspaltenbereich in einem 2-4 mm breiten Areal getrübt und glanzlos. Die Prognose der durch Kälte hervorgerufenen bandförmigen Keratitis ist aber relativ gut. Die Sehherabsetzung hängt von der Dichte der Trübungsnahe und dem etwaigen Verlust von Hornhautsubstanz ab. MERCIER ist mit Recht der Meinung, daß der

Sprung mit dem Fallschirm aus der Strathosphäre ohne Augenschutz die Entstehung einer solchen Schädigung sehr fördert.

Eine nähere Erforschung der Kälteeinwirkung auf das Auge wurde, wie das Auxilium der Literatur zeigt, durch entsprechende Experimentelle untersucht.

b) Bisherige Berichte über experimentelle Veränderungen
am Tierauge

Um die Frage zu beantworten, ob eine Lokalanästhesie des vorderen Bulbusabschnittes durch Gefrierung mit Äthylchlorid in Betracht komme, stellte WAGENMANN (1902) eine Reihe von Kaninchenversuchen an. Bei kurzer und geringer Einwirkung von Äthylchlorid auf die Conjunktiva und Hornhaut trat nur ein ganz vorübergehender Reizzustand mit geringer Injektion auf, der schnell wieder verschwand. Die Cornea blieb klar. Wurde an dem vor die Lider luxierten Auge das Äthylchlorid aber solange aufgesprüht, bis eine deutliche Gefrierung der Conjunktiva und Hornhaut erzielt war, so trat eine stärkere Injektion auf; weiterhin fand sich an der Gefrierstelle eine graue, oberflächliche Trübung, die aber nach einigen Tagen ebenfalls wieder verschwand.

WESSELY (1918) vereiste die Hornhaut von Kaninchen in einem kreisförmigen Bezirk von 7-8 mm Durchmesser mit Kohlensäureschnee, dessen Temperatur -20°C betrug. Jedesmal trat sofort eine schneeweiße Verfärbung der Hornhaut auf, die nach wenigen Sekunden wieder verschwand. Erst als er jeden Tag 1-2 Wochen lang die Hornhaut 15-20 sec lang vereiste, entstand in diesem Bereich eine kleinfleckige, parenchymatöse Trübung mit einer feinen Stichelung des Hornhautepithels. Auch diese Veränderungen gingen meist spurlos zurück.

Ähnliche Beobachtungen machten MAUMENEE und KORNBLUETH (1949). Sie vereisten einen begrenzten Hornhautbezirk bei Kaninchen mit Kohlensäureschnee, bzw. tiefgekühlten Eisenringen auf -78°C . 2-3 Stunden danach zeigte sich eine Trübung, die auf einem Epithelödem beruhte und von einer conjunctivalen Reaktion begleitet wurde. Nach 24 Stunden erreichte das Ödem seinen Höhepunkt. Mit dem Nachlassen der conjunctivalen Reaktion gingen auch die Hornhautveränderungen wieder zurück und waren nach 5-6 Tagen völlig verschwunden.

GRANT (1947) ließ 5-30 sec lang Schwefeldioxyd auf die Kaninchenhornhaut einwirken. Dabei traten Endothelschädigungen auf. Nach 30-40 min quoll die Hornhaut und färbte sich mit Fluorescin an. Gleichzeitig entwickelten sich Bindehautnekrosen, Chemosis und Iritis. Die Hornhaut trübte sich und war nach 10 Tagen vaskularisiert. In diesem Versuch dürfte aber neben dem Kälteeinfluß der Schwefelfaktor noch eine gewisse Bedeutung gehabt haben.

Fassen wir diese Versuche zusammen, so läßt sich feststellen, daß - im Gesamten betrachtet - die reine Einwirkung auch von großer Kälte (bis -78°C) nur von einer vorübergehenden Schädigung der Hornhaut und Bindehaut gefolgt war.

II. Unsere Versuche

=====

Wir vereisten Hornhaut und Ciliarkörper von Kaninchen in umschriebenen Bereichen, anschließend fanden Untersuchungen an der Spaltlampe statt. Die Tiere hatten vor den Versuchen eine braune Iris mit grauem Unterton bei auch im übrigen normalem Augenbefund.

a) Vereisung der Hornhaut

1. Versuchsanordnung

Die Versuche fanden an beiden Augen von vier Kaninchen ($K_1 - K_4$) statt. Ein kleiner Desmarres'scher Lidhalter wurde etwa 4 Minuten in flüssigen Stickstoff eingetaucht. Dieser hatte eine Temperatur von ungefähr -195°C ⁺⁾ . Danach wurde das abgekühlte Instrument unter leichtem Druck 2 sec lang auf die vorher mit mehreren Tropfen Novesin anästhesierte Hornhaut aufgesetzt. Im Einzelnen gingen wir folgendermaßen vor :

- Kaninchen K_1 : Vereisung des temporalen oberen Quadranten
Kaninchen K_2 : Vereisung der temporalen Hälfte
Kaninchen K_3 : Vereisung der temporalen Hälfte und des
nasalen unteren Quadranten
Kaninchen K_4 : Vereisung aller vier Quadranten

In der Abb. 1 sind die Kälteapplikationen auf der Hornhaut dargestellt.

+) Handbook of Chemistry and Physics, Chemical Rubber
Publ. Co., Cleveland, Ohio, 1963

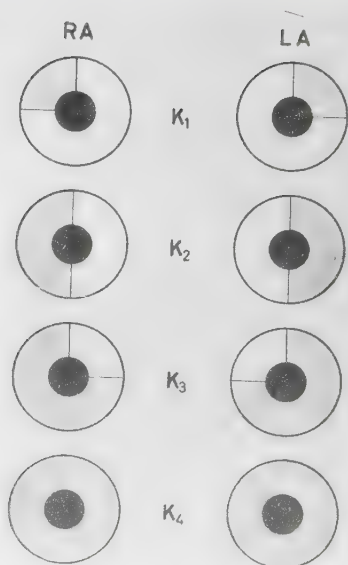


Abb. 1 : Systematische Darstellung der vereisten Bezirke auf der Hornhaut bei den Kaninchen K₁ - K₄

Bei den Tieren K₃ und K₄, bei denen eine ausgedehntere Vereisung vorgenommen wurde, haben wir auch die Epithelbeschaffenheit verfolgt. Zu diesem Zweck wurde die Cornea wiederholt mit Fluorescein angefärbt. Vier Tage nach Vereisung wurden die Augen an der Spaltlampe untersucht. Weitere Untersuchungen fanden am 6., 11., 14. Tag

und im Abstand von je 7 Tagen bis zu 15 Wochen nach Vereisung statt.

2. Ergebnisse

Durch die Kälteeinwirkung trat sofort in allen Fällen eine Hornhauttrübung auf, die - abhängig von der Intensität und Ausdehnung der Kälteapplikation - eine verschiedene Stärke und Größe zeigte. Sie verschwand Sekunden später wieder durch Verkleinerung vom Rande her. Abb. 2a und 2b zeigen die in einem Quadranten vereiste Tierhornhaut sofort und 20 sec nach Vereisung.

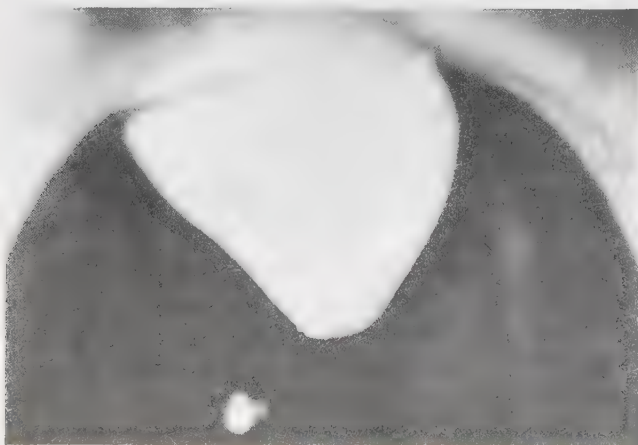


Abb. 2a : Mit flüssigem Stickstoff im temporal oberen Quadranten vereiste Hornhaut des Kaninchens K₁

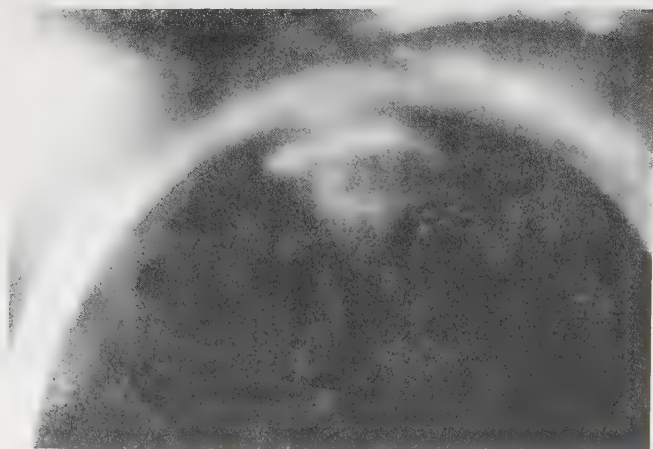


Abb. 2b : 20 sec nach vorgenommener Vereisung der
Hornhaut. Rückbildung der Trübung vom Rande her

4 Tage nach der Kälteeinwirkung fand sich im vereisten Gebiet bei den Tieren K₁ und K₂ eine zarte Trübung der HH, die das Epithel und die oberflächlichen Parenchymschichten betraf. Die HH war in dem getrübbten Bezirk geringgradig verdickt. Diese Veränderungen waren 2 Tage später verschwunden, dagegen zeigte sich jetzt bei Kaninchen K₂ am LA eine angedeutete Gefäßeinsprossung in den vereisten Bezirk; eine solche entwickelte sich bei Kaninchen K₁ am RA 14 Tage nach Versuchsbeginn. Zu diesem Zeitpunkt war bei K₂ eine, allerdings zarte, zentrale Keratitis punctata superficialis nachweisbar, die 2 Wochen später abheilte.

Die Iris wies bei der 1. Untersuchung 4 Tage nach Vereisung am Tier K₁ rechts und am Tier K₂ links in einem schmalen Bereich, der hinter der vereisten Stelle gelegen war, eine Aufhellung gegenüber der Umgebung auf. Die bei K₁ nahezu kreisförmige Depigmentierung lag in einem intermediären Areal zwischen Iriswurzel und Pupillar-

saum (vgl. Abb. 3a). Sie bildete sich allmählich zurück und war nach 5 Wochen nur noch an einer eigentümlichen Körnelung des Pigmentes, die sich kaum von ihrer Nachbarschaft abhob, zu erkennen (vgl. Abb. 3b). Die geringer ausgeprägte Depigmentierung beim Tier K_2 war bereits nach 4 Wochen spurlos verschwunden.

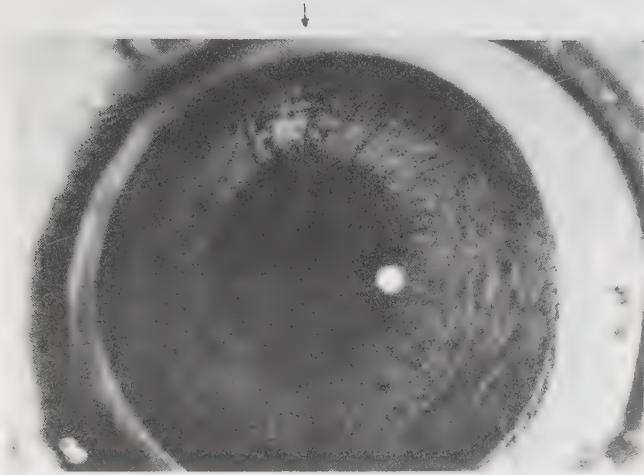


Abb. 3a : Kreisförmige Depigmentierung der Iris bei 12 Uhr nach Vereisung der Hornhaut im temporal oberen Quadranten bei Tier K_1

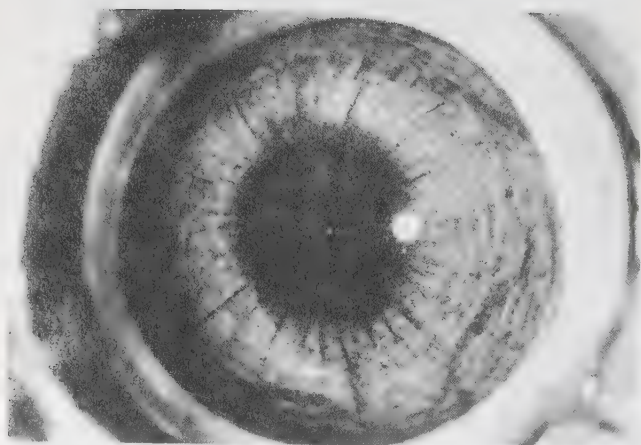


Abb. 3b : Wieder normal pigmentierte Iris 5 Wochen nach Vereisung bei Tier K_1 . Eine Pigmentkörnelung weist auf die frühere Depigmentierung bei 12 Uhr hin.

Bei den Tieren K_3 und K_4 waren die Veränderungen intensiver ausgeprägt.

Bei K_3 fand sich 4 Tage nach der Vereisung eine bis auf einen noch intakten keilförmigen Bezirk nasal oben fast totale, dichte Trübung sämtlicher Hornhautschichten. Die Cornea war etwa auf das Doppelte verdickt. Der Übergang von der klaren in die trübe Zone ging allmählich vorstatten. Der intakte HH-Bezirk war etwas kleiner als die ursprünglich von der Vereisung ausgenommene Stelle. Eine Beurteilung der Irisfarbe erwies sich infolge dieser HH-Veränderungen als nicht möglich. 2 Tage später zeigten sich im vorderen Parenchym wasserspaltentartige, optisch leer anmutende Räume. Im Epithel fielen vakuolenartige Veränderungen auf. Stellenweise war eine Irisdepigmen-

tierung zu erkennen. 11 Tage nach dem Versuch war die Trübung vom Rande her zurückgebildet. Sie betraf nur noch das Epithel und die oberflächlichen Parenchym-schichten. Nun fielen deutliche Irisveränderungen auf : Rechts zwei fleckförmige Depigmentierungen bei 5 Uhr und 7 Uhr (Abb. 4), links je eine wenig auffallende, zungenförmige Depigmentierung zwischen 12 Uhr und 1 Uhr und eine weitere, rundlich gestaltete bei 6 Uhr, die bis nahe an den Limbus heranreichte. Sowohl die Iriswurzel als auch der Pupillarsaumbereich waren jedoch normal pigmentiert (Abb. 5).

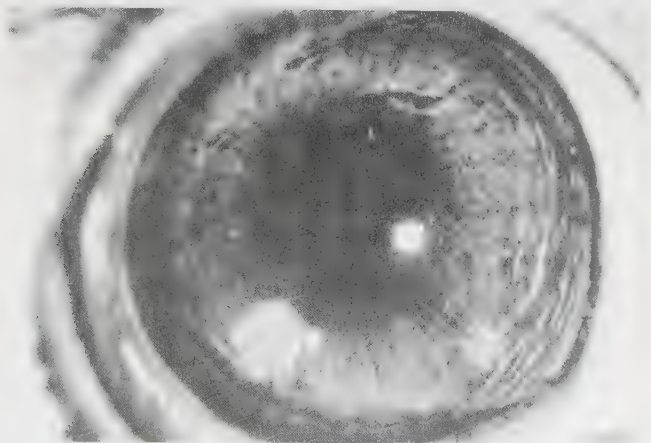


Abb. 4 : Fleckförmige Depigmentierung der rechten Iris bei 5 Uhr und 7 Uhr 11 Tage nach Vereisung der Hornhaut bei Kaninchen K₃

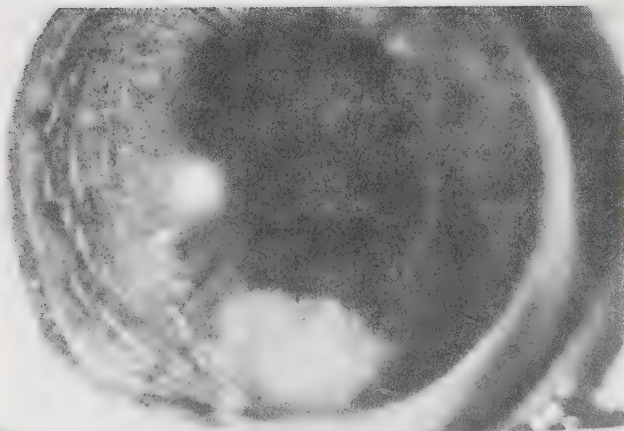


Abb. 5 : Fleckförmige Depigmentierung der linken Iris
bei 6 Uhr 11 Tage nach Vereisung der Hornhaut
bei Kaninchen K₃

Die hauchzarte, umschriebene Trübung der Hornhaut bildete sich weiterhin zurück; zentral wurde nach 21 Tagen eine Keratitis punctata superficialis nachweisbar, die in der 5. Woche allmählich verschwand. Die Hornhaut war zu diesem Zeitpunkt wieder vollständig normal.

Auch die Depigmentierungen der Iris nahmen von der 3. Woche an langsam ab. Die kleineren Depigmentierungen verschwanden rascher als die größeren. Im Bereich relativ großer und intensiver Depigmentierungen fand sich noch nach 14 Wochen eine angedeutete Aufhellung der Stromafarbe gegenüber der Nachbarschaft. Die Abb. 6 stellt die wieder normale Iris 15 Wochen nach Vereisung dar.

Bei Kaninchen K₄ waren die HH-Veränderungen am stärksten ausgeprägt (vgl. Abb. 7) und klangen auch am spätesten wieder ab.

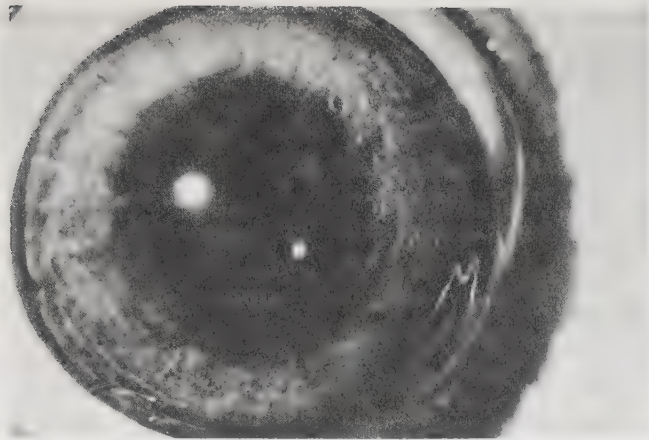


Abb. 6 : Normale Irispigmentierung 15 Wochen nach HH-
Vereisung des rechten Auges von Tier K₃

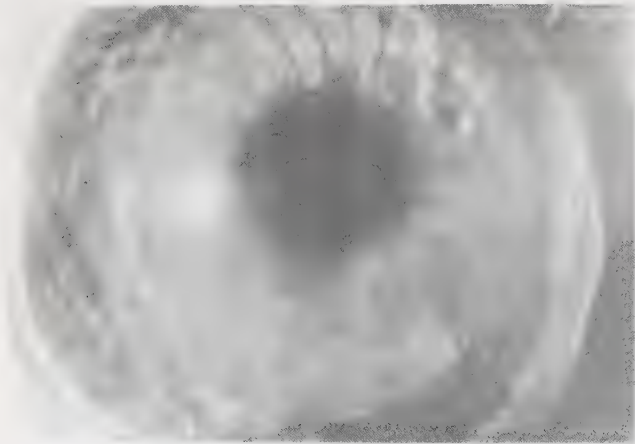


Abb. 7 : Diffuse HH-Trübung und Quellung mit Verdichtung
parazentral unten zwischen 3 Uhr und 8 Uhr
14 Tage nach vollständiger Vereisung der Horn-
haut von Kaninchen K₄

4 Tage nach Versuchsbeginn war die gesamte Hornhaut diffus getrübt und gequollen. 2 Tage später bildete sich eine Epithelverdichtung parazentral unten zwischen 3 Uhr und 8 Uhr heraus. Nach 14 Tagen zeigte die HH im Bereich dieser Verdichtung eine Rauigkeit der Oberfläche, die auf eine ungleiche HH-Dicke zurückzuführen war. Zu diesem Zeitpunkt wurde die Iris zum ersten Mal beurteilbar : Rechts fiel bei 2 Uhr eine unregelmäßige, unscharf begrenzte, flächenhafte Depigmentierung auf, links je eine bei 2 Uhr und zwischen 4 und 5 Uhr. Die Pupillarsaumzone war nicht mit betroffen. 5 Wochen nach Kälteeinwirkung war die rechte und 6 Wochen die linke Iris wieder normal pigmentiert. Die diffusen HH-Veränderungen begannen sich von der 2. Woche an von der Peripherie her allmählich bis auf den parazentral verdichteten Bezirk zurückzubilden. Hier war die Trübung, Epithel und oberflächliches Parenchym betreffend, über mehrere Wochen nachweisbar. In Abb. 8 ist 11 Wochen nach Vereisung die parazentrale Hornhautnarbe bei 6 Uhr noch gerade andeutungsweise zu erkennen.

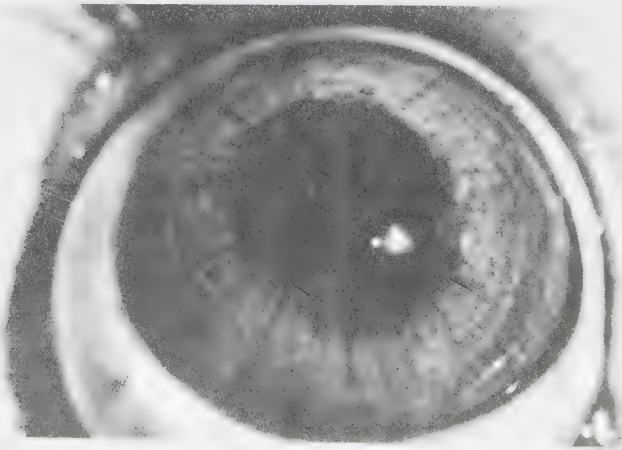


Abb. 8 : Hauchzarte Trübung parazentral bei 6 Uhr
11 Wochen nach vollständiger HH-Vereisung bei
Kaninchen K₄

In der 10. Woche fiel außerdem am linken Auge auf, daß einige oberflächliche Gefäßschlingen vom Limbus her in die untere Zone der Trübung eindrangen. Dort kam es, in etwa 3 mm Entfernung vom Limbus, nach weiteren 4 Wochen zu einer knospenartigen Epithelverdickung mit Kapillarneubildung im Zentrum. Nach 15 Wochen waren neben diesem Befund nur noch ganz zarte subzentrale HH-Trübungen im vorderen Parenchym und mehrere kleine Vakuolen im Epithel vorhanden.

Die Epithelbeschaffenheit der Hornhaut, die wir bei Kaninchen K_3 und K_4 mit Fluorescein geprüft hatten, zeigte das auch in Abb. 9 wiedergegebende Verhalten : Vom 6. - 28. Tag färbten sich die Hornhäute mit Fluorescein an, bei der Untersuchung 34 Tage nach dem Versuchsbeginn und danach war das HH-Epithel wieder normal.

HH-Oberfläche							
Fluoresceinverhalten	nach 4	6	14	21	28	34	63 Tg.
K_3	-	+	+	+	+	-	-
K_4	-	+	+	+	+	-	-

Abb. 9 : Fluoresceinverhalten der HH-Oberfläche bei Kaninchen K_3 und K_4 nach Vereisung der Hornhaut

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß ein direkter Zusammenhang zwischen der Intensität der Vereisung und der Intensität und Ausdehnung sowohl der HH-Trübung, als auch der Irisdepigmentierung bestand. Dies betrifft auch die Rückbildungsgeschwindigkeit dieser Veränderungen.

b) Vereisung des Ciliarkörpers

1. Versuchsanordnung

Bei vier Kaninchen ($K_5 - K_8$) wurde nach Novesin-anästhesie die Kälteeinwirkung durch den Bulbus hindurch auf den Ciliarkörper übertragen. Die Vereisung erfolgte mit einem kleinen Desmarres'schen Lidhalter in einem 3 mm breiten, limbusnahen Bezirk. Sie wurde analog zu den Hornhautversuchen an beiden Augen folgendermaßen durchgeführt (vgl. Abb. 10) :

Kaninchen K_5 : Vereisung im temporal oberen Quadranten

Kaninchen K_6 : Vereisung der temporalen Hälfte

Kaninchen K_7 : Vereisung der temporalen Hälfte und des nasal unteren Quadranten

Kaninchen K_8 : Vereisung aller vier Quadranten

2. Ergebnisse

Bei keinem der 4 Tiere rief die Kälte eine Veränderung von Hornhaut und Iris hervor.

Die Spaltlampenuntersuchung ergab nach 4 Tagen bei Kaninchen K_5 eine leichte Quellung und Minderdurchblutung der Bindehaut im vereisten Bereich. Kaninchen K_6 dagegen wies eine geringe Injektion auf, während bei den Tieren K_7 und K_8 kleine subconjunctivale Hämorrhagien aufgetreten waren, die in einem schmalen Band parallel zum Limbus verliefen.

6 Tage nach dem Versuch waren die Augen von K_5 und K_6 wieder normal. Bei K_7 und K_8 trat eine Zellströmung in der Vorderkammer auf. Außerdem war eine zarte Pigmentaumlagerung auf der Linsenvorderkapsel im Bereich des Pupillarsaums zu beobachten. Die folgenden Untersuchungen nach 11 Tagen und später ergaben wieder normale Befunde.

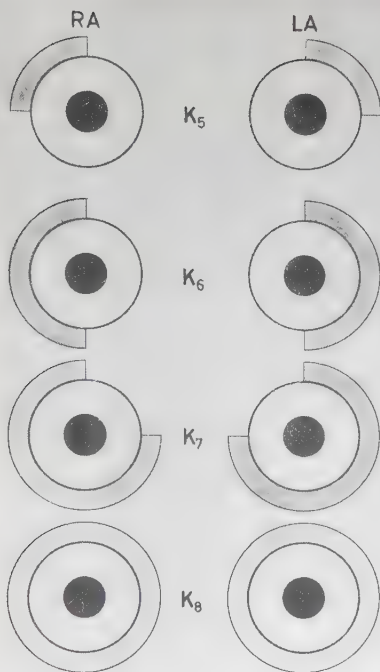


Abb. 10 : Systematische Darstellung der vereisten Bezirke auf der Bulbusbindehaut von Kaninchen K₅ bis K₈

c) Temperaturmessungen am Kaninchenauge nach umschriebener Abkühlung

1. Versuchsanordnung

Es handelte sich um Oberflächenmessungen mit einem thermoelektrischen Meßgerät⁺⁾ , welches augenblicklich Temperaturen zwischen -30° und $+40^{\circ}\text{C}$ anzuzeigen vermag. Der Meßfühler besitzt nur einen ungefähr 0,2 mm dicken Durchmesser, so daß es möglich ist, punktförmig zu messen und den Wert sofort und kontinuierlich abzulesen.

Die Messungen wurden an 25 Kaninchen vorgenommen, erstreckten sich also auf 50 Augen. Vereist wurde mit einer vorher in flüssigen Stickstoff getauchten Metallkugel, deren Auflagerungsfläche im Durchmesser 4 mm betrug. Zur Anästhesie des vorderen Augenabschnittes wurde Novesin benutzt. Dieses Präparat hat auf die Durchblutung und somit auf die Temperatur des Auges kaum einen Einfluß.

Vor dem Versuchsbeginn wurden die Raumtemperatur registriert und die Temperaturen im HH-Zentrum, auf einem Punkt der Hornhaut zwischen Zentrum und Limbus, am Limbus und auf der Bindehaut des Bulbus. Die Werte wurden nach Abschluß der Vereisungsversuche kontrolliert.

Die Kälteeinwirkung erfolgte bei allen Augen im Zentrum der Hornhaut, während das Temperaturverhalten unter und nach Vereisung bis maximal 4,5 Minuten an drei verschiedenen Lokalisationen mit unterschiedlicher Entfernung zur Kälteapplikation beobachtet wurde :

- A) am Limbus (L)
- B) auf einem in der Mitte zwischen Limbus und Zentrum gelegenen Punkt der HH (P)
- C) auf der Bindehaut, in 2 mm Entfernung vom Limbus (S)

+) Modell A. 107/09, Nr. 8.1.64, Ges. f. elektrophys. Apparatebau, Brandau/Odw.

Die Vereisungsdauer betrug 2 sec und 5 sec.

Die Abbildungen 11a und 11b zeigen die mit einer Metallkugel vorgenommene Vereisung im HH-Zentrum des luxierten Kaninchenauges bei gleichzeitiger Temperaturmessung am Limbus mit dem thermoelektrischen Meßgerät während und nach Vereisung.

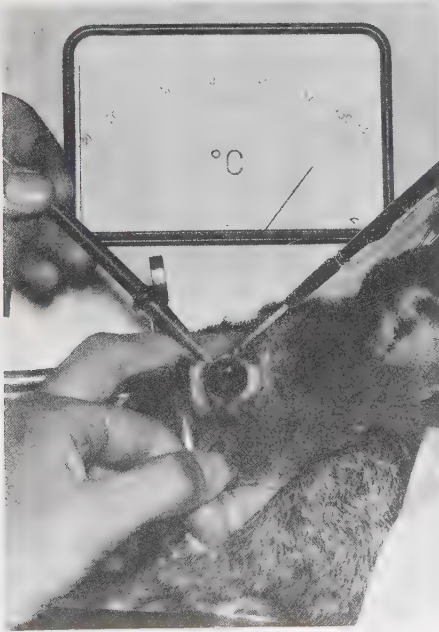


Abb. 11a : Vereisung des luxierten Kaninchenauges im HH-Zentrum mit einer Metallkugel und Messung der Temperatur am Limbus mit einem thermoelektrischen Meßgerät



Abb. 11b : Messung der Temperatur am Limbus wenige Sekunden nach zentraler HH-Vereisung. Im Zentrum der HH ist die weiße Gefrierung noch sichtbar

2. Ergebnisse

Die Raumtemperaturen und die bei 50 Messungen beobachteten Augentemperaturen zeigten die in Abb. 12 wiedergegebenen durchschnittlichen Werte. Im HH-Zentrum, wo je 3 Vereisungen von 2 sec und 5 sec erfolgt waren, trat eine lokale Abkühlung um $0,3^{\circ}$ gegenüber der unvereisten Hornhaut auf, während die übrigen Temperaturen des Auges

in L, P und S, wie auch die Raumtemperatur im Verlauf der Versuche anstiegen.

	vor Vereisung	nach Vereisung
Raumtemperatur	21,4°	22,1°
Temp. im HH-Zentrum	28,0°	27,7°
Temp. zw. Zentrum u. Limbus	28,6°	28,8°
Temp. am Limbus	30,0°	30,6°
Temp. auf d. BH des Bulbus	30,6°	31,3°

Abb. 12 : Durchschnittliche Raum- bzw. Augentemperaturen von 25 Kaninchen gemessen vor und nach den Vereisungsversuchen

ad A) Vereisung im Zentrum der Hornhaut und Messung der Temperatur am Limbus

Von der 2 sec langen Vereisung unbeeinflusst blieb die Temperatur bei 23 Augen. Bei 19 Augen kam es zu einem Temperaturanstieg (15x um +0,5°, 3x um +1,0°, 1x um +1,5°). Die Temperatur kehrte bei 9 Augen innerhalb einer Zeit von 3 min und 12 sec zum Ausgangswert zurück, wobei dieser in der überwiegenden Zahl der Fälle bereits nach 22 sec erreicht wurde. Bei den übrigen 10 Augen blieb dieser Wert noch nach 2 min um 0,5° überschritten.- Bei 8 Augen wurde während der Vereisung ein Temperaturabfall beobachtet (3x um -0,5°, 4x um -1,0°, 1x um -1,5°). Die Temperatur blieb auch nach der Vereisung über den Zeitraum von 2 min bei 6 Augen erniedrigt, während sie in 1 Fall nach 20 sec wieder den ursprünglichen Wert erreichte und diesen bei 1 Auge nach 34 sec um 0,5° überschritt (vgl. Abb. 13).

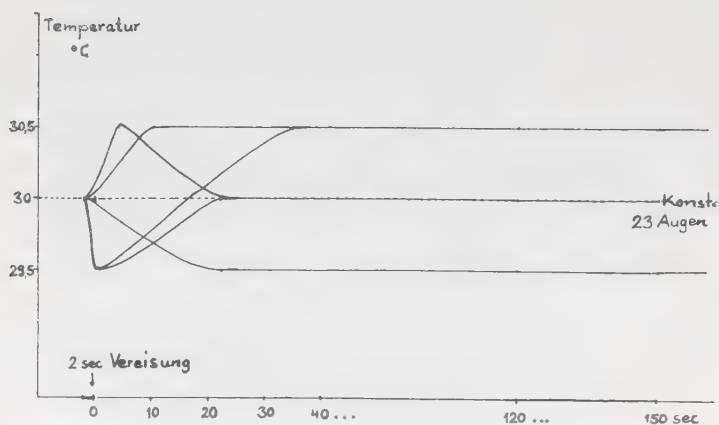


Abb. 13 : Temperaturverhalten am Limbus nach 2 sec langer Vereisung des HH-Zentrums von 50 Kaninchenaugen während einer Beobachtungszeit von 150 sec : 23 mal Temperaturkonstanz, 19 mal Temperaturanstieg mit Rückgang zur Ausgangstemperatur in 9 Fällen nach durchschnittlich 22 sec . Temperaturabfall bei 8 Augen mit bleibendem Abfall bei 6, Rückkehr zum Ausgangswert bei 1 und Anstieg im Anschluß an den Abfall bei ebenfalls 1 Auge

Nach 5 sec langer Abkühlung blieb die Temperatur bei 21 Augen konstant, bei 19 fiel sie unter der Vereisung ab (12x um $-0,5^{\circ}$, 6x um $-1,0^{\circ}$, 1x um $-1,5^{\circ}$). 10 Augen ließen einen Temperaturrückgang zum Ausgangswert innerhalb einer Zeit von 2,5 min und 4 sec erkennen. In 6 Fällen

war dieser Wert noch nach 2 min um $0,5^{\circ}$ unterschritten, während im Anschluß an den Temperaturabfall ein Anstieg der Temperatur in 3 Fällen um durchschnittlich $0,75^{\circ}$ auftrat, der über die Beobachtungszeit von 2 min zu verfolgen war.- Mit einem sofortigen Temperaturanstieg auf den Kältereiz reagierten 10 Augen (5 um $+0,5^{\circ}$, 5 um $+1,0^{\circ}$) . In 1 Fall wurde die ursprüngliche Temperatur nach 28 sec wieder erreicht, bei den übrigen 9 Augen war sie nach 2 min immer noch erhöht (vgl. Abb. 14) .

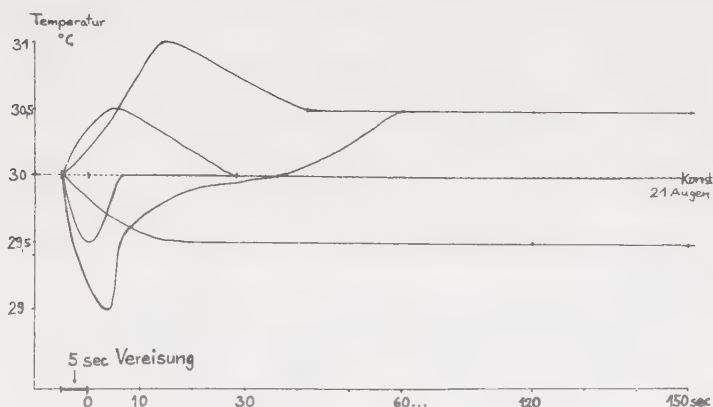


Abb. 14 : Temperaturverhalten am Limbus nach 5 sec langer Vereisung im HH-Zentrum von 50 Kaninchenaugen während einer Meßzeit von 150 sec : Temperaturkonstanz bei 21 Augen, Temperaturabfall bei 19 Augen mit Rückgang zum Ausgangswert in 10, bleibendem Abfall in 6 und erst Abfall dann Anstieg in 3 Fällen. Temperaturanstieg bei 10 Augen mit Rückkehr zur Ausgangstemperatur bei 1 Auge

Die Kurven in Abb. 13 und 14 stellen Beispiele für die verschiedenen Verhaltensweisen der Temperatur am Limbus nach Vereisung des HH-Zentrums dar; sie sind auf die bei 50 Kaninchenaugen im Durchschnitt gefundene Temperatur bezogen.

In Abb. 15 und 16 sind die Ergebnisse der Temperaturmessung am Limbus nach 2 und 5 sec langer zentraler HH-Abkühlung in einer Tabelle bzw. graphischen Darstellung zusammengefaßt.

Temperatur am Limbus	Vereisung im HH-Zentrum	
	2 sec	5 sec
Konstanz	23	21
Abfall	8	19
um $-0,5^{\circ}$	3	12
$-1,0^{\circ}$	4	6
$-1,5^{\circ}$	1	1
Rückgang z. Ausgangstemp.	1	10
Überschreiten d. " "	1	3
Bleibender Abfall	6	6
Anstieg	19	10
um $+0,5^{\circ}$	15	5
$+1,0^{\circ}$	3	5
$+1,5^{\circ}$	1	-
Rückgang z. Ausgangstemp.	9	4
Bleibender Anstieg	10	9

Abb. 15 : Temperaturverhalten am Limbus verglichen zwischen 2 und 5 sec langer zentralen HH-Vereisung von je 50 Kaninchenaugen

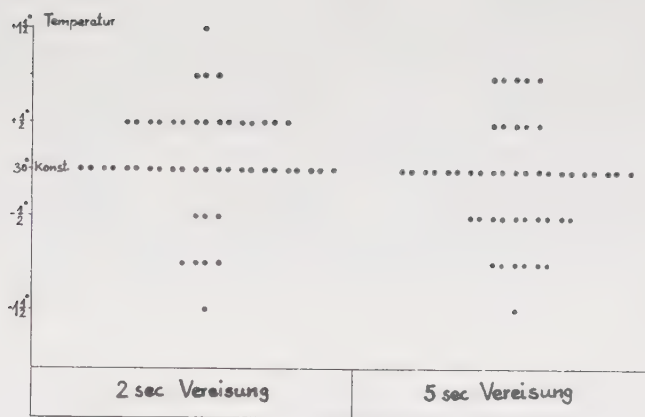


Abb. 16 : Verhalten der Temperatur am Limbus von je 50 Kaninchenaugen nach 2 und 5 sec langer HH-Vereisung im Zentrum

ad B) Vereisung im HH-Zentrum und Messung der Temperatur auf einem in der Mitte zwischen Zentrum und Limbus gelegenen Punkt der Hornhaut

Diese Untersuchungen zeigten in der überwiegenden Zahl der Fälle, sowohl während der 2 sec, als auch während der 5 sec langen HH-Vereisung einen Temperaturabfall, der sich im Bereich zwischen $0,5^{\circ}$ und $4,0^{\circ}$ bewegte.

Bei dem Versuch mit 2 sec langer Kälteeinwirkung erfolgte unter den insgesamt 50 Kaninchenaugen bei 41 ein

augenblicklicher Temperaturabfall. Bei 21 Augen kehrte die Temperatur innerhalb einer Zeit von 3 min und 3 sec - in der überwiegenden Zahl nach 30 sec - zum Ausgangswert zurück, während bei 16 Augen im Anschluß an den Abfall ein Temperaturanstieg um durchschnittlich $0,75^{\circ}$ auftrat, der über die Beobachtungszeit von 2 min unverändert bestehen blieb. In 4 Fällen dagegen blieb die Temperatur während der Meßperiode von 2 min gegenüber dem ursprünglichen Wert um $0,5^{\circ}$ konstant erniedrigt.- Bei 7 Augen trat trotz Vereisung in unmittelbarer Nähe keine Veränderung der Temperatur innerhalb der Meßzeit von 2 min auf. - In 2 Fällen stieg sie sogar unter der Vereisung um $0,5^{\circ}$ und $1,0^{\circ}$ an und ließ auch nach 2 min keine Veränderung erkennen (vgl. Abb. 17).

Während der 5 sec langen HH-Vereisung fiel die Temperatur in 48 Fällen ab, bei 1 Auge blieb sie während der Beobachtungszeit von 2 min konstant und stieg bei 1 Auge nach 30 sec um $1,0^{\circ}$ an. - Bei den 48 Augen, bei denen die Temperatur abgefallen war, wurde ein Rückgang zum ursprünglichen Wert bei 20 Augen innerhalb einer Zeit von 3,5 min und 4 sec beobachtet. In 19 Fällen wurde dieser um durchschnittlich $0,75^{\circ}$ überschritten und auch während der Meßzeit von 4,5 min nicht mehr erreicht. In den übrigen 9 Fällen näherten sich zwar die Temperaturen wieder dem Ausgangswert, blieben aber während der Beobachtungszeit von 2,5 min um $0,5^{\circ}$ und $1,0^{\circ}$ darunter (vgl. Abb. 18).

Die in Abb. 17 und 18 wiedergegebenen Kurven stellen Beispiele dar für die zwischen HH-Zentrum und Limbus gemessenen Temperaturen. Die Ausgangstemperaturen der Kurven sind auf die bei 50 Augen gefundenen Durchschnittswerte bezogen.

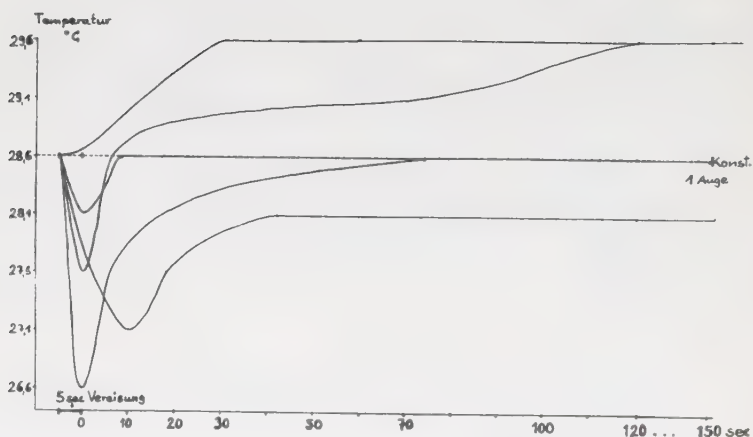


Abb. 18 : Temperaturkurven vom Punkt P der HH nach 5 sec langer Abkühlung des HH-Zentrums von 50 Augen während der Beobachtungszeit von 150 sec : Temperaturkonstanz bei 1 Auge, Temperaturanstieg bei 1 Auge, Temperaturabfall bei 48 Augen mit Rückgang zum Ausgangswert in 20 Fällen, Überschreiten dieses Wertes in 19 und bleibendem Abfall in 9 Fällen

In Abb. 19 und 20 sind die Ergebnisse der Temperaturmessungen auf der Hornhaut in P nach 2 und 5 sec langer Vereisung vergleichsweise gegenübergestellt.

Temperatur in P	Vereisung im HH-Zentrum	
	2 sec	5 sec
Konstanz	7	1
Anstieg	2	1
um $+0,5^{\circ}$	1	—
$+1,0^{\circ}$	1	1
Abfall	41	48
um $-0,5^{\circ}$	19	4
$-1,0^{\circ}$	9	11
$-1,5^{\circ}$	5	13
$-2,0^{\circ}$	5	9
$-2,5^{\circ}$	1	3
$-3,0^{\circ}$	1	6
$-4,0^{\circ}$	1	2
Rückgang z. Ausgangstemp.	21	20
Überschreiten d. " "	16	19
Bleibender Abfall	4	9

Abb. 19 : Temperaturverhalten auf einem in der Mitte zwischen Zentrum und Limbus gelegenen Punkt P der Hornhaut verglichen zwischen 2 und 5 sec langer Vereisung im HH-Zentrum von 50 Augen

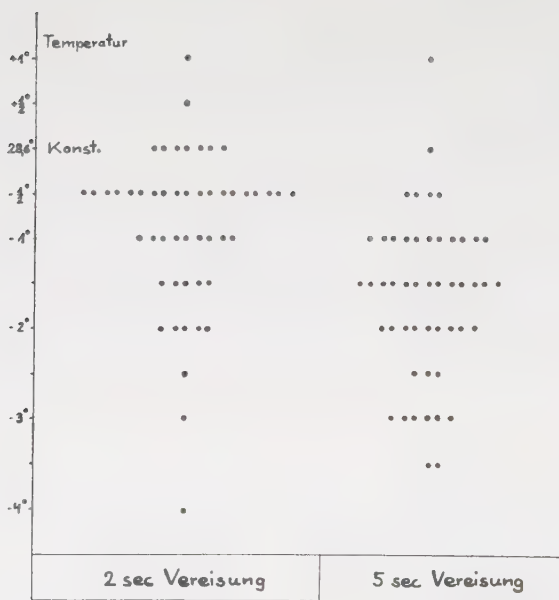


Abb. 20 : Schematische Darstellung des Temperaturverhaltens auf einem in der Mitte zwischen Zentrum und Limbus gelegenen Punkt P der Hornhaut nach 2 und 5 sec langer HH-Vereisung von 50 Augen

ad C) Vereisung im HH-Zentrum und Messung der Temperatur auf der Bindehaut, in 2 mm Entfernung vom Limbus

Die Versuche mit 2 sec langer Abkühlung des HH-Zentrums ergaben bei 25 von 50 Augen keine Veränderung der Temperatur. In 18 Fällen setzte augenblicklich ein Temperaturanstieg ein (13x um +0,5°, 4x um +1,0°, 1x um +1,5°), der bei 1 Auge nach 14 sec abklang, bei den

übrigen 17 Augen während der Meßperiode von 2 min bestehen blieb. - In 7 Fällen fiel die Temperatur um $0,5^{\circ}$ ab; dreimal kehrte sie nach durchschnittlich 32 sec zum Ausgangswert zurück und überschritt diesen bei 2 Augen um $0,5^{\circ}$ und $1,5^{\circ}$, ohne daß sich nach 2 min eine Veränderung zeigte. In 2 Fällen blieb die Temperatur nach Vereisung in der Meßzeit von 2 min erniedrigt (vgl. Abb. 21).

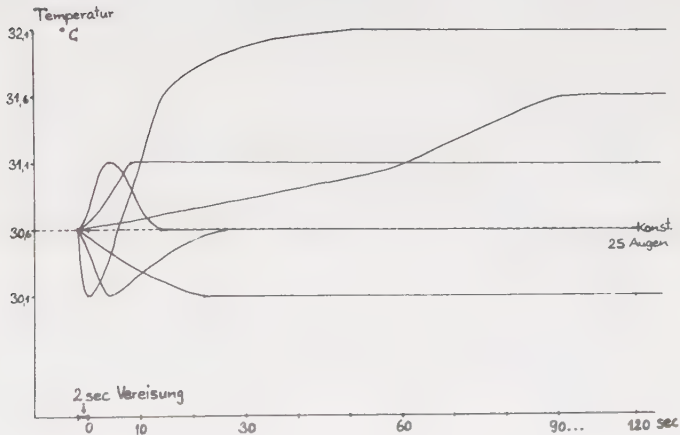


Abb. 21 : Temperaturverhalten auf der Conjunctiva bulbi 2 mm vom Limbus nach 2 sec langer Vereisung des HH-Zentrums von 50 Augen während der Meßzeit von 2 min : Temperaturkonstanz 25 mal, Temperaturanstieg 18 mal mit einmaligem Rückgang zum Ausgangswert, Temperaturabfall 7 mal mit Rückkehr zum Ursprungswert bei 3 Augen und Überschreiten dieses Wertes bei 2 Augen

Die Resultate der 5 sec langen zentralen HH-Gefrierung ergaben eine gleichbleibende Temperatur bei 26 Augen und einen Temperaturanstieg in 10 Fällen (8x um $+0,5^{\circ}$, 1x um $+1,0^{\circ}$, 1x um $+2,0^{\circ}$) mit Rückkehr zum Ausgangswert bei 2 Augen nach 3 min 40 sec bzw. 8 sec. Bei den übrigen 8 Augen blieb die Temperatur während der Meßzeit von 2 min erhöht. Ein augenblicklicher Temperaturabfall trat bei 14 Augen auf (11x um $-0,5^{\circ}$, 3x um $-1,0^{\circ}$) ; 9 mal wurde die Ausgangstemperatur innerhalb einer Zeit von 3,5 min und 4 sec - mit einem Maximum um 30 sec - erreicht, während sie 3 mal nach durchschnittlich 20 sec um $0,5^{\circ}$ innerhalb der Meßzeit von 2 min überschritten wurde. In 2 Fällen dagegen blieb die Temperatur in der Meßperiode von 2 min um $0,5^{\circ}$ erniedrigt (Abb. 22).

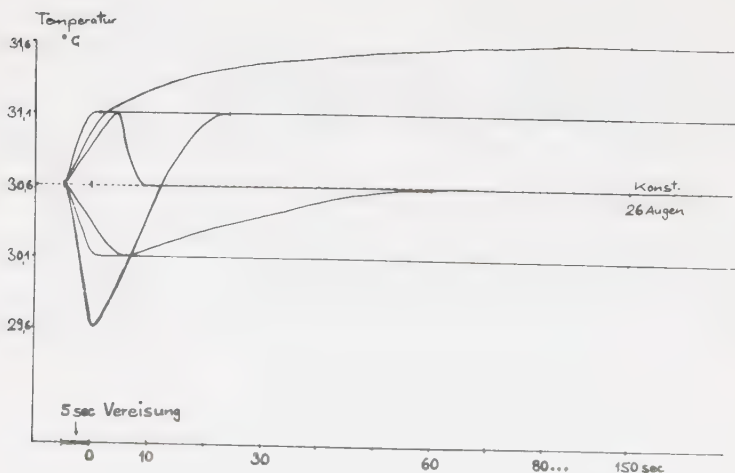


Abb. 22 : Temperaturverhalten auf der Bindehaut 2 mm vom Limbus nach 5 sec langer Vereisung des HH-Zentrums

von 50 Augen während der Meßzeit von 2,5min :
 Temperaturkonstanz bei 26 Augen, Temperaturabfall
 bei 14 Augen mit Rückkehr zur Ausgangstemperatur
 in 9 und Überschreiten dieser Temperatur in 3 Fällen.
 Temperaturanstieg bei 10 Augen mit Rückgang zum
 Ausgangswert in 2 Fällen

Abb. 21 und 22 zeigen Kurvenbeispiele, die einen Überblick über das unterschiedliche Temperaturverhalten auf der Bindehaut 2 mm vom Limbus geben. Die Kurven sind auf die bei 50 Augen ermittelten Ausgangstemperaturen bezogen. In Abb. 23 und 24 sind die Ergebnisse nach 2 und 5 sec langer Vereisung nochmals zusammengefaßt.

Temperatur auf der BH:	Vereisung im HH-Zentrum	
	2 sec	5 sec
Konstanz	25	26
Abfall	7	14
um $-0,5^{\circ}$	7	11
$-1,0^{\circ}$	-	3
Rückgang z. Ausgangstemp.	3	9
Überschreiten d. " "	2	3
Bleibender Abfall	2	2
Anstieg	18	10
um $+0,5^{\circ}$	13	8
$+1,0^{\circ}$	4	1
$+1,5^{\circ}$	1	-
$+2,0^{\circ}$	-	1
Rückgang z. Ausgangstemp.	1	2
Bleibender Anstieg	17	8

Abb. 23 : Reaktionsweisen der Temperatur auf der Bindehaut 2 mm vom Limbus verglichen zwischen 2 und 5 sec langer zentraler HH-Vereisung von 50 Tieraugen

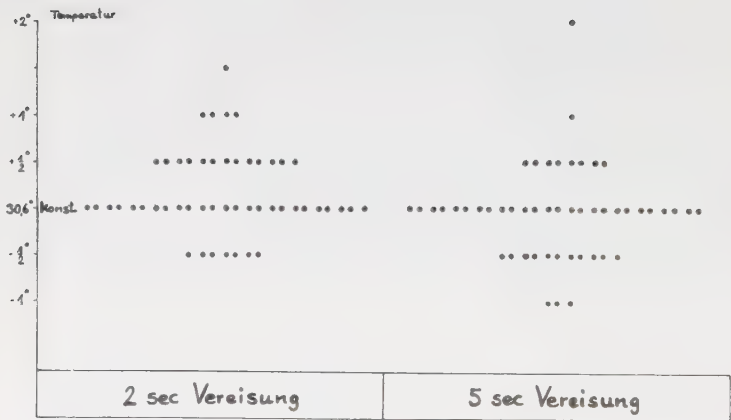


Abb. 24 : Schematische Darstellung des Temperaturverhaltens auf der Conjunctiva bulbi 2 mm vom Limbus entfernt nach 2 und 5 sec langer Kälteeinwirkung im HH-Zentrum von 50 Kaninchenaugen

III. Besprechung der Ergebnisse

=====

Die Frage nach dem Einfluß starker Kälteeinwirkung auf das Auge hat vor allem durch die moderne Fliegerei (Stratosphärenflug), die eine Geschwindigkeit von 2 000 - 2 700 km/std und Höhen bis zu 24 000 m mit einer Außentemperatur von -60° erreicht, an Bedeutung gewonnen.

Einige Autoren haben das Problem des Kälteeinflusses auf das Auge bereits aufgegriffen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit

1. der Analyse der Kälteeinwirkung
2. dem Temperaturverhalten an verschiedenen Stellen des vorderen Augenabschnittes

Im ersten Teil stützt sich die Arbeit auf Beobachtungen an beiden Augen von 8 Kaninchen, von denen 4 zur Vereisung der Hornhaut und 4 zur Ciliarkörpervereisung herangezogen wurden. Die Vereisungsbezirke wurden am rechten und linken Auge in symmetrischer Anordnung gewählt. Die Art der Kälteapplikation an Hornhaut und Ciliarkörper war dieselbe.

Die Ergebnisse des zweiten Teils beruhen auf Temperaturmessungen an 50 Kaninchenaugen.

ad 1. Analyse der Kälteeinwirkung

Die Kälte, die in Form von flüssigem Stickstoff zur Abkühlung der Hornhaut benutzt wurde, löste Vorgänge aus, die mit reaktiven örtlichen Kreislaufstörungen einhergingen. Es kam zur Hyperämie der Randschlingen. Die für die Ernährung der Hornhaut wichtige Gefäßsprossung füllte sich vermehrt. Das normalerweise größtenteils blutleere oberflächliche Randschlingennetz (SCHIECK, BRÜCKNER) erschien in Gestalt einer pericornealen Injektion. Im weiteren Verlauf erfolgte an zwei Augen auch eine geringe oberflächliche

Vaskularisation der HH.

Eine Erklärung dafür gab LEWIS (1941), der sich mit den Reaktionen bei allgemeiner Kälteeinwirkung beschäftigte: die Kälte bewirkt, daß die Zellen vermehrt Flüssigkeit aufnehmen und gleichzeitig Histamin, bzw. H-Substanz ausgeschüttet wird. Die Freigabe von Histamin wirkt auf die Blutgefäße im Sinne einer lokalen Vasodilatation. Der Vorgang läuft über einen Axon-Reflex ab. Neben der Erweiterung kommt es zur erhöhten Permeabilität der Kapillaren, zum Flüssigkeitsaustritt und zur Bildung eines lokalen Ödems.

Als Folge der aktiven Hyperämie tritt eine Temperaturerhöhung auf, wie wir sie (vgl. 2. Teil) ebenfalls beobachteten.

Bei unseren Versuchen erfolgte, wie erwähnt, eine einmalige, 2 sec lange Vereisung bestimmter HH-Bezirke, wobei der Kältereiz relativ kurz andauerte. Makroskopisch fiel nach 4 Tagen außer einer Rötung der Bindehaut das rauchgraue, glanzlose Aussehen der HH im vereisten Bezirk auf, wobei der regelmäßige Oberflächenreflex verloren ging. Bei der Spaltlampenmikroskopie fand sich nach der gleichen Zeit als Substrat der Trübung eine Verdickung und Quellung des HH-Parenchyms im vorher vereisten Bezirk. Die Dichte der HH-Trübung hing von der Intensität und Ausdehnung der Kälteeinwirkung ab. War diese auf einen umschriebenen Bereich beschränkt, so war die Trübung relativ klein. Betraf der Kältereiz die HH vollständig, so entstand eine diffuse Trübung mit Verdickung der gesamten Substantia propria.

In einem Fall (K_3) wurden nach 6 Tagen an der bis auf den nasal oberen Quadranten vereisten Hornhaut wasserspaltenartige optisch leere Räume im vorderen HH-Parenchym beobachtet, die in einem schmalen Büschel besonders hervortraten.

Die Trübung des HH-Parenchyms bildete sich in Abhängig-

keit von der Größe der Vereisungsfläche vom 5. Tag an - spätestens nach 14 Tagen - zurück, und zwar verschwand sie allmählich von der Peripherie her. Dieser Befund zeigt, daß in der Nähe des Limbus, wo ja die Randschlingen vorhanden sind, bessere Ernährungsbedingungen existieren als in den zentralen HH-Abschnitten. Im Verlauf der Rückbildung entstand vorübergehend eine Keratitis punctata superficialis. Auch sie verschwand ohne Hinterlassung von Narben. Nach 4-5 Wochen waren die Trübungen vollständig wieder verschwunden, bis auf einen Fall (K_4), bei dem noch nach 15 Wochen zarte, subzentrale HH-Trübungen im vorderen Parenchym vorhanden waren. Außerdem blieb bei diesem Tier in der HH-Peripherie eine zarte Gefäßeinsprossung zurück.

Als weitere Kältefolge sind Veränderungen der Iris in Form scharf umschriebener Depigmentierungen beobachtet worden. Sie lagen stets hinter der vereisten HH-Stelle und hauptsächlich im intermediären Areal zwischen Irisbasis und Pupillarsaum (Abb. 4 und 5). In Abhängigkeit von der Intensität und Ausdehnung des vereisten Bezirkes bildeten sich auch diese Entfärbungen der Iris im Verlauf von 3-15 Wochen wieder völlig zurück.

CORDS bemerkte ähnliche, scharf begrenzte Depigmentierungen bei Iritis und Glaukom. Er glaubt, daß Ernährungsstörungen, welche in erster Linie die Chromatophoren betreffen, als Ursache anzusehen sind. Eine ähnliche Ansicht vertritt Waardenburg : er vermutet trophisch vaskulär bedingte Störungen.

Wir möchten meinen, daß trophische Störungen auf dem Gefäßweg als Ursache für die von uns beobachteten Depigmentierungen nicht wahrscheinlich sind, da Irisveränderungen dieser Art bei Ciliarkörpervereisung nicht festgestellt wurden. Vielmehr dürfte die Gefrierung von Hornhaut und Kammerwasser und damit die unmittelbare Kälteeinwirkung

auf die Iris selbst einen Reiz dargestellt haben, der die Auswanderung des Pigmentes zur Folge hatte.

Obwohl die Versuche an beiden Augen soweit wie möglich streng symmetrisch vorgenommen wurden, traten die Depigmentierungen nicht immer an beiden Augen in gleicher Weise auf.

Bei der Vereisung des gefäßreichen, perilimbären Gewebes wurde vorübergehend eine conjunctivale Hyperämie zum Teil mit Chemosis ausgelöst, teilweise durch subconjunctivale Hämorrhagien begleitet. Diese Veränderungen bildeten sich nach 6, spätestens nach 11 Tagen zurück, während Hornhaut und Iris bei Spaltlampenkontrolle unbeeinflusst blieben. In der Vorderkammer wurden 6 Tage nach Vereisung in 2 Fällen (K_7 und K_8) Zellen und zarte Pigmentaumlagerungen auf der Linsenvorderkapsel festgestellt, die auf einen leichten iritischen Reizzustand schließen lassen. Sie waren bei der folgenden Spaltlampenuntersuchung nach 11 Tagen wieder verschwunden.

ad 2. Temperaturverhalten an verschiedenen Stellen des vorderen Augenabschnittes

Die HH-Temperatur lag vor dem Versuchsbeginn um einige Grade niedriger als an anderen Körpergeweben. Dies dürfte (DUKE ELDER) darauf zurückzuführen sein, daß dieses Gewebe gefäßlos ist und exponiert liegt.

Im Zentrum herrschte vor der Vereisung eine Temperatur von 28°C (Streubreite $\pm 1,5^{\circ}$) gegenüber dem Limbus von 30°C (Streubreite $\pm 1,5^{\circ}$) und der Bindehaut des Bulbus von $30,6^{\circ}\text{C}$ (Streubreite $\pm 2,0^{\circ}$). In der Mitte zwischen Limbus und Zentrum lag sie bei $28,6^{\circ}\text{C}$ (Streubreite $\pm 1,5^{\circ}$).

Die Temperaturmessung war von mehreren Faktoren abhängig:

von Bedeutung erwies sich die Raumtemperatur, die einen Einfluß auf den Ausgangswert hatte. Durch Luftzug z. B. wurden die Ergebnisse beeinflusst. Von Wichtigkeit waren deshalb konstante Untersuchungsbedingungen, die einzuhalten wir bestrebt waren.

Als Faktor in diesem Zusammenhang ist auch der Meßvorgang als solcher von Bedeutung. Allein durch die mechanische Irritation des Aufsetzens kommt es zu einer angedeuteten pericornealen Injektion und damit zu einer geringfügigen Temperaturerhöhung.

Ferner spielt der Druck, mit dem das Thermometer zur Messung aufgesetzt wird, eine Rolle. Ein stärkerer Druck, der ein tieferes Eindringen des Thermometers zur Folge hat, zeigte sich sofort in einer allerdings geringfügigen Temperaturerhöhung. Diese beiden zuletzt erwähnten Faktoren spielten jedoch an allen Augen in gleicher Weise mit.

Auch die Vereisung selbst unterliegt selbstverständlich gewissen, nicht genau reproduzierbaren Veränderungen: Das Vereisungsinstrument hat Kugelgestalt. Der Druck, mit dem es auf das Gewebe gesetzt wird, bewirkt eine mehr oder weniger intensive Vereisung in der Zeiteinheit. Bei geringem Druck war die Vereisungsfläche klein - sie glich einem Kugelsegment - bei stärkerem Druck erreichte sie die Größe des Kugeldurchmessers.

Sieht man von all diesen Fehlerquellen ab, die Streubreiten der Ergebnisse nach unten wie nach oben bedingten, so kann man aber doch einige grundsätzliche Betrachtungen anstellen:

Interessant war zunächst die durch die Gefrierung hervorgerufene Gefäßerweiterung und Erwärmung, auf die im vorangegangenen Teil der Arbeit bereits kurz eingegangen ist, belegen zu können.

Mit Ausnahme des HH-Zentrums, wo insgesamt 6 Vereisungen innerhalb von 30 min (je 3 Vereisungen von 2 sec und 5 sec) stattgefunden hatten und dadurch eine lokale Abkühlung um durchschnittlich $0,3^{\circ}$ entstanden war, wurde nach der gleichen Zeit folgende durchschnittliche Erwärmung der übrigen Augenabschnitte registriert : am Limbus stieg die Temperatur von 30° auf $30,6^{\circ}$, auf der Bindehaut in 2 mm Entfernung vom Limbus von $30,6^{\circ}$ auf $31,3^{\circ}$ an ; auf einem in der Mitte zwischen Zentrum und Limbus gelegenen Punkt der Hornhaut zeigte sich ein Temperaturanstieg um $0,2^{\circ}$.

Die Ergebnisse der Temperaturmessung auf der reichlich vaskulierten Bulbusbindehaut sowohl am Limbus, als auch perilimbär auf der BH in 2 mm Entfernung, zeigten bei Abkühlung der zentralen HH-Bezirke eine Übereinstimmung. Wenn man die Dauer der Vereisung (2 sec, 5 sec) unberücksichtigt läßt, so ergab sich, daß in ungefähr der Hälfte der Fälle trotz Vereisung während der Meßzeit von 2 min die Temperatur konstant blieb. Von 100 Messungen - vorgenommen an 50 Augen mit je 2 sec und 5 sec langer Vereisung - waren am Limbus 44, auf der BH 51 konstant. Ein Temperaturanstieg und -abfall sofort auf die Vereisung hin kam fast gleich häufig vor : am Limbus fiel die Temperatur in 27 Fällen ab, in 29 stieg sie an ; auf der BH fiel sie 21 mal ab und stieg 28 mal an (vgl. Abb. 25).

Die Dauer der Vereisung wirkte sich in der Weise aus, daß bei 2 sec langer Abkühlung ein Temperaturanstieg häufigerer beobachtet wurde als bei 5 sec langer Vereisung. Hier kam es öfter zu einem Temperaturabfall.

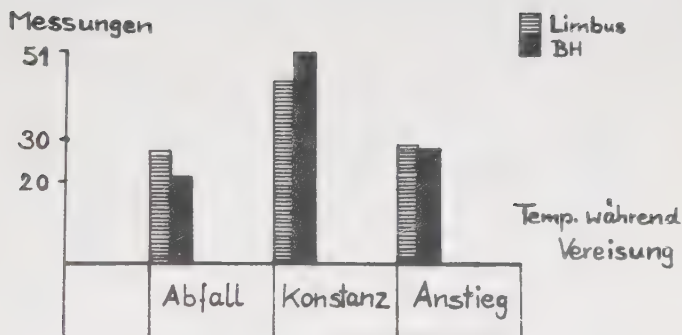


Abb. 25 : Temperaturverhalten am Limbus und auf der Bindehaut 2 mm vom Limbus entfernt während der Vereisung des HH-Zentrums von 50 Kaninchenaugen. Die Werte beziehen sich auf 100 Messungen, da sie eine Zusammenfassung der Ergebnisse bei 2 und 5 sec langer Vereisung darstellen.

Die Ergebnisse der Temperaturmessung auf der Hornhaut in der Mitte zwischen Limbus und Zentrum ließen deutlich den Einfluß der unmittelbaren Vereisungsnähe erkennen. Wahrscheinlich wirkte sich auch die Gefäßlosigkeit der Hornhaut aus, die überwiegend einen sofortigen Temperaturabfall unter der Kälteeinwirkung bedingte : in 89 von 100 Messungen - die Ergebnisse bei 2 und 5 sec langer Vereisung

sind wieder zusammengefaßt - fiel die Temperatur augenblicklich auf die Vereisung hin ab, während 8 mal die Temperatur während der Meßperiode von 2 min unbeeinflußt von der Kälteeinwirkung blieb und 3 mal sofort auf die Vereisung hin ein Temperaturanstieg erfolgte.

In Abb. 26 sind die Ergebnisse, wie sich die Temperatur an verschiedenen Stellen des vorderen Augenabschnittes sofort auf die Vereisung des HH-Zentrums hin verhielt, zusammengefaßt dargestellt.

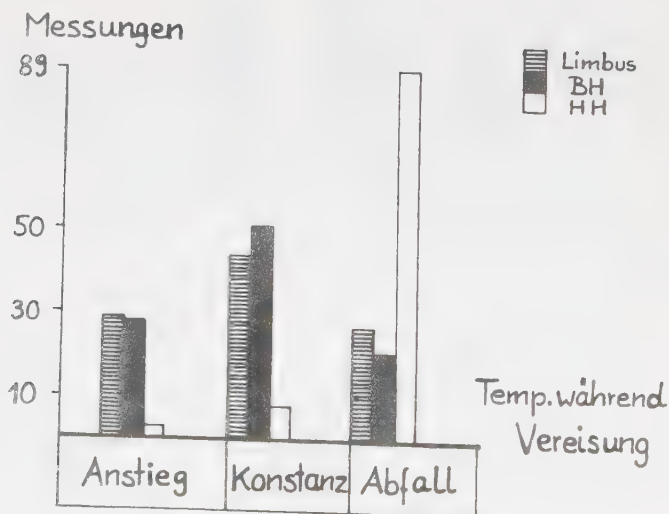


Abb. 26 : Temperaturverhalten am Limbus, auf der Bindehaut 2 mm vom Limbus entfernt und auf der Hornhaut in der Mitte zwischen Limbus und Zentrum während der Vereisung des HH-Zentrums von 50 Tieraugen. Die Werte der 2 und 5 sec langen Abkühlung sind zusammengefaßt: in der überwiegenden Zahl der Fälle Temperaturkonstanz sowohl am Limbus, als auch auf der BH perilimbär, Überwiegender Temperaturabfall auf der HH-Mitte

Es läßt sich also sagen, daß auch bei der gegebenen Versuchsanordnung der Organismus die Tendenz erkennen läßt, die Temperatur konstant zuhalten.

Über einen Axon-Reflex (LEWIS), der die reaktive Hyperämie wohl bedingte, wurde eine Gegenreaktion gegen die starke Gewebsunterkühlung eingeleitet. Diese bewirkte, daß die Temperatur entweder keine Änderung erfuhr und trotz Kälteeinwirkung konstant blieb oder sich ein sofortiger Temperaturanstieg zeigte. Fiel aber die Temperatur im Augenblick der Vereisung ab, wie das vorwiegend auf der HH-Mitte zwischen Limbus und Zentrum der Fall war, so wurde in der überwiegenden Zahl der Fälle die Ausgangstemperatur innerhalb einer Zeit von 3,5 min und 3 sec wieder erreicht und teilweise sogar überschritten. Eine über die Beobachtungszeit von 2 min andauernde, erniedrigte Temperatur von $0,5^{\circ}$ - $1,0^{\circ}$ war auf der Bindehaut in 2 mm Entfernung vom Limbus bei 4 von 100 Messungen, am Limbus bei 12 und auf der HH-Mitte zwischen Limbus und Zentrum bei 13 Messungen bestehen geblieben.

IV. Zusammenfassung

Einleitend Darstellung von Berichten in der Literatur, die sich mit Kälteschäden des menschlichen Auges befassen. Daneben wird kurz auf vorherige Arbeiten eingegangen, die experimentelle Untersuchungen des Kälteeinflusses zum Gegenstand haben.

Aufgabe dieser Arbeit war es:

1. den Einfluß starker Kälteeinwirkung auf die Hornhaut und den Ciliarkörper in klinisch-experimenteller Hinsicht zu untersuchen.
2. festzustellen, wie sich die Temperatur verschieden lang nach der Vereisung des HH-Zentrums in unterschiedlichem Abstand von dieser Stelle verhält.

Die Berichte über die Versuche beziehen sich im 1. Teil auf je 8, im 2. Teil auf 50 Kaninchenaugen.

ad 1. Eine einmalige, 2 sec dauernde Vereisung der Hornhaut mit flüssigem Stickstoff ruft eine schneeweiße, circumscribte Gefrierung des Gewebes hervor, die in Sekunden wieder verschwindet, ohne zunächst auch bei Spaltlampenuntersuchung eine erkennbare Veränderung entstehen zu lassen. Ziemlich rasch entsteht jedoch eine von der Intensität, Lage und Dauer der Kälteeinwirkung abhängige conjunctivale Hyperämie, die nach 5-6 Tagen abklingt. An der Hornhaut kann sich nach Tagen, wenn eine starke Kälteeinwirkung voranging, eine Trübung des Parenchyms ausbilden, die allerdings im Falle einer vorausgegangenen intensiven Vereisung mehrere Wochen bis zu ihrer völligen Resorption benötigte. Bei weniger intensiver Kälteeinwirkung bilden sich die HH-Trübungen mit dem Rückgang der pericornealen Injektion bereits nach 5-6 Tagen zurück. An zwei Augen entstand eine Gefäßeinsprossung ins Hornhautparenchym

und fast in jedem Fall eine vorübergehende Keratitis punctata superficialis.

An der Iris können hinter der vereisten Hornhautstelle fleckförmige, scharf begrenzte, zumeist runde bis ovale Depigmentierungen entstehen. Ihre Größe und Intensität variiert in Abhängigkeit von der Vereisungsfläche zwischen geringer Farbaufhellung bis fast völlig weißer Entfärbung. Auffällig ist ihr Entstehen im intermediären Areal der Iris zwischen Basis und Pupillarsaum. Die Irisveränderungen gehen von der 3. Woche an allmählich zurück und verlieren sich vollständig. Die Rückbildungsdauer richtet sich nach dem Ausbildungsgrad der Erscheinungen.

Starke Kälteeinwirkung auf den Ciliarkörper läßt außer der Rötung der Bindehaut keine pathologischen Hornhaut - und Irisbefunde erkennen.

ad 2. Wichtig sind konstante Untersuchungsbedingungen. Von Einfluß sind neben der Raumtemperatur auch der Druck, mit dem das Thermometer und das Vereisungsinstrument aufgesetzt werden.

Wie sich die Temperatur unter Vereisung des HH-Zentrums in 2 mm Entfernung vom Limbus auf der Bulbusbindehaut, auf der Hornhaut in unmittelbarer Vereisungsnähe, sowie am Limbus verhielt, wird zusammenfassend in Abb. 27 wiedergegeben.

Temperaturverhalten während Vereisung	Limbus (Anzahl der Messungen)	Bindehaut	Hornhaut
Konstanz	44	51	8
Anstieg	29	28	3
Abfall	27	21	89

Abb. 27 : Verhalten der Temperatur am Limbus, auf der Bindehaut in 2 mm Entfernung vom Limbus und auf der Hornhaut zwischen Zentrum und Limbus während der Vereisung des HH-Zentrums von 50 Kaninchen-
augen. Die Werte sind aus den Messungen mit 2 sec und 5 sec langer Vereisung hervorgegangen.

In Abb. 28 sind die Ergebnisse der Temperaturmessung an verschiedenen Stellen des Auges zusammengefaßt, die auf die in Abb. 27 dargestellten Sofortreaktionen während der Vereisung folgten.

Temperaturverhalten nach Vereisung	Limbus (Anzahl der Messungen)	Bindehaut	Hornhaut
Rückgang zur Ausgangs- temperatur	21	15	41
Überschreiten der Ausgangstemperatur	23	30	38
Bleibender Abfall	12	4	13

Abb. 28 : Verhalten der Temperatur im Anschluß an die zentrale HH-Abkühlung innerhalb einer Zeit bis maximal 4,5 min, gemessen am Limbus, auf der Bindehaut in 2 mm Entfernung vom Limbus und auf einem Punkt der Hornhaut in der Mitte zwischen Zentrum und Limbus

Daraus geht hervor (Abb. 27), daß die stärkste Abkühlung, wie zu erwarten, in der Nähe der Vereisungsfläche erfolgte, daß aber später (Abb. 28) überwiegend eine höhere Temperatur als vor dem Versuchsbeginn gemessen wurde. Dieser Befund spricht für eine reaktive Hyperämie, die natürlich nur über den gefäßhaltigen Limbus zustande gekommen sein kann.

Es ist selbstverständlich auch beabsichtigt, die morphologischen Veränderungen in vorliegenden Stadien der Versuche zu verfolgen. Diese Untersuchungen sind jedoch noch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

V. Schrifttum

=====

- Belz,A., Perdriel,G., Guyard,M.: Bull. Mém. Soc. Fr. Ophtal.,
1958, 71, 560-570
ref: Zbl.f.d.ges.Ophthalm., 1959, 76, 131
- Carroll,F.: Am. J. Ophthalm., 1933, 16, 994
ref: Zbl.f.d.ges.Ophthalm., 1934, 30, 730
- Colombo,G.L.: Brit. J. Ophthalm., 1921, 5/12, 553-558
ref: Zbl.f.d.ges.Ophthalm., 1922, 7, 33
- Cords,R.: Am. J. Ophthalm., 1924, 7/1, 1-5
ref: Zbl.f.d.ges.Ophthalm., 1924, 12, 185
- Duguet,J., Mercier,A.: Ann. Oculist., Paris, 1951, 148/11,
969-993
ref: Zbl.f.d.ges.Ophthalm., 1952, 57, 178
- Duke-Elder,S.: Text-Book of Ophthalmology. Henry Kimpton,
London, 1954, 6, 6406-6412
- Freytag,G.Th.: Klin. Mbl. Augenheilk., 1917, 59, 67
- Grant,W.M.: Arch. of Ophthalm., 1947, 38, 755-762
- v. Herrenschwand,F.: Zbl.f.prakt. Augenheilk., 1916, 40, 161
- Lewis: Brit. Med. J., 1941, 2, 795
- Maumenee, Kornblueth: Am. J. Ophthalm., 1949, 32, 1051
ref: Zbl.f.d.ges.Ophthalm., 1949, 50, 450
- Mercier,A., Duguet,J.: Arch. Ophtalm., 1948, 8, 272-275
ref: Zbl.f.d.ges.Ophthalm., 1949, 50, 402
- Mercier,A.: Entretiens Bichat (chirur. et spéc.),
1954, 367-370
- Schieck, Brückner: Handbuch der Ophthalmologie Bd.4,
Springer, Berlin 1934
- Sedan,J., Farnarier,G.: Année Thér.et Clin. Ophtal., 1961, 12,
133-182
- Shteinberg,A.L.: Trudy Voronezhsk Med. Inst., 1961, 42,
177-182
ref: Excerpta Med. Ophthalm., 1962, 16/12
491
- Waardenburg,P.J.: Nederlandsch tijdschr. v. geneesk., 1920,
64/22, 1929-1941
ref: Zbl.f.d.ges.Ophthalm., 1920, 3, 335

- Wagenmann,A.: Heidelb. Berichte, 1902, 30, 53
- Wessely,K.: Knapp-Arch. f. Aug., 1918, 83, 1
- Zanen,J.: Assoc. intern. Prophylaxie Cécité,
Bruxelles, 1957
ref: J. Ophtal. Soc. , 1958, 22, 21-30

Dem Direktor der Universitäts-Augenklinik Marburg,
Herrn Prof. Dr. W. Straub, danke ich für die Arbeits-
möglichkeit in seiner Klinik, für die freundliche Über-
lassung des Themas, sowie für seine Anregungen und Rat-
schläge bei meinen Untersuchungen und die großzügige
Unterstützung bei der Abfassung der Arbeit.

Weiterhin danke ich der wiss. Ass. Frau Dr. M. Severin
für ihre Anregungen und bereitwillige Hilfe bei den Unter-
suchungen.

Mein Dank gilt auch besonders Frau M. Ursprung,
Leiterin der Fotoabteilung der Universitäts-Augenklinik
Marburg, sowie ihrer Mitarbeiterin Frau Försterling für die
technischen Hilfen bei der Durchführung der experimentellen
Untersuchungen und der Illustrationen der Arbeit.

L e b e n s l a u f

Am 24. 11. 1939 wurde ich, Isolde Müller, als Tochter des Volksschullehrers Artur Müller und seiner Ehefrau Anna, geb. Baudisch, in Weigelsdorf (Sudetenland) geboren.

Nach 13-jähriger Schulzeit legte ich im März 1960 auf dem math.-naturwiss. Zweig der Jakob-Grimm-Schule in Rotenburg/F. das Abitur ab. Im Mai des gleichen Jahres begann ich das Medizinstudium in Marburg, wo ich im Oktober 1962 das Physikum bestand. Ich setzte dann das Medizinstudium in Berlin an der Freien Universität fort und kehrte nach zwei Semestern wieder nach Marburg zurück. Ich habe die Absicht, mich im Sommersemester 1965 zum Staatsexamen zu melden.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten :

in Marburg: Brück, Bücher, Dimroth, Drawert, Hensel, Mahr, Mattes, Niessing, Petry, Schmitz, Seidel, Vogt, Walcher, Wendt

in Berlin: Bruntsch, Bücherl, Dulce, Franke, Gansau, Grunze, Hammerstein, Heim, Herken, Höring, Kleeberger, v. Kreß, Lax, Loeschke, Maatz, Maßhoff, Neuhaus, v. Oldershausen, Pellnitz, Pezold, Schmidt,

in Marburg: Beckmann, Berendes, Bickel, Braun-Falco, Dellbrück, Dittrich, Dölle, Erhardt, Exner, Gedigk, Hamm, Hartmann, Heuser, Hildebrandt, Hornung, Jacob, Knauff, Kottmeyer, Lang, Linneweh, Lübbers, Mann, Martini, Marx, du Mesnil de Rochemont, Oehme, Oehmig, Prinz, Rohen, Sauer, Schleyer, Schmid, Schwaiger, Siess, Stender, Straub, Würterle



